

(12) NACH DEM VERTRÄG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
8. Februar 2001 (08.02.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/08957 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **B61L 3/00**

(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/EP00/07149**

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. Juli 2000 (26.07.2000)

(25) Einreichungssprache: **Deutsch**

(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**

(30) Angaben zur Priorität:
199 35 350.6 29. Juli 1999 (29.07.1999) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **DAIMLERCHRYSLER AG [DE/DE]; Epplestrasse 225, D-70546 Stuttgart (DE).**

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **FRANKE, Rüdiger [DE/DE]; Fritz-Frey-Strasse 2, D-69121 Heidelberg (DE). TERWIESCH, Peter [CH/CH]; Gartenweg 459, CH-5512 Wohlenschwiel (CH). MEYER, Markus [CH/CH]; Höchsweidstrasse 7, CH-6030 Ebikon (CH). KETTELER, Karl-Hermann [CH/CH]; Schwächelerstrasse 29, CH-5314 Kleinödtingen (CH).**

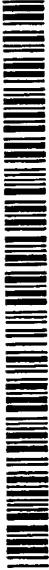
(74) Anwälte: **RUPPRECHT, Klaus usw.; John-F.-Kennedy-Strasse 4, D-65189 Wiesbaden (DE).**

(81) Bestimmungsstaaten (national): **AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,**

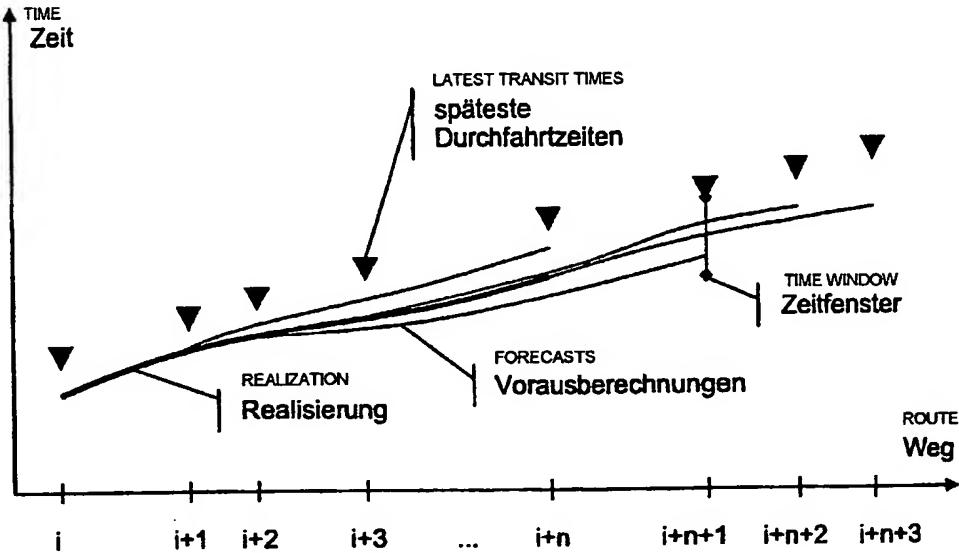
[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DRIVING MODE FOR OPTIMIZING ENERGY AND TIME IN THE MANNER IN WHICH A VEHICLE OR TRAIN IS DRIVEN

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ENERGIE- UND ZEITOPTIMIERUNG DER FAHRWEISE BEI EINEM FAHRZEUG/ZUG



WO 01/08957 A1



(57) Abstract: Disclosed is a method for optimizing energy in a vehicle/train by using time slots in a timetable. According to the inventive method, the overall route between a point of departure when stopped and a stopping point upon arrival is sub-divided into several sections. Individual time slots undergo priority management so that said individual time slots can be included in the optimization process in a flexible manner in order to obtain an energy-saving method of travel, using an optimizing algorithm.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- Mit internationalem Recherchenbericht.
- Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen.

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Es wird ein Verfahren zur Energieoptimierung bei einem Fahrzeug/Zug bei der Benutzung von Zeitreserven vorgeschlagen, welche bei einem Fahrplan eingeplant sind, wobei eine zwischen einem Start-Haltepunkt und einem Ziel-Haltepunkt zu durchfahrende Gesamtstrecke in mehrere Abschnitte unterteilt und jedem Abschnitt eine gewisse Zeitreserve zuerkannt wird. Zur Erzielung einer energiesparenden Fahrweise unter Zuhilfenahme eines Optimierungsalgorithmus erfolgt eine übergeordnete Verwaltung der einzelnen Zeitreserven derart, daß die einzelnen Zeitreserven flexibel in die Optimierung einbezogen werden.

**Verfahren zur Energie- und Zeitoptimierung der Fahrweise bei einem
Fahrzeug/Zug**

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Energieoptimierung der Fahrweise bei einem Fahrzeug/Zug mit in mehrere Abschnitte unterteilter Gesamtstrecke gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Bei der Erstellung von Fahrplänen für den Schienenverkehr werden Zeitreserven für unvorhergesehene Ereignisse und widrige Betriebsbedingungen eingeplant. Da während realer Fahrten die Betriebsbedingungen typischerweise günstiger sind als in der Planung angenommen, werden die dabei entstehenden Zeitreserven für andere Zwecke verfügbar. Eine besonders sinnvolle Benutzung der Zeitreserven besteht in der Einsparung von Energie mittels geeigneter Fahrweise des Fahrzeugs/Zuges.

Aus der DE 30 26 652 A1, der DD 255 132 A1 und der EP 0 467 377 B1 sind in diesem Zusammenhang Verfahren bekannt, wie man ein Fahrzeug energieoptimal zwischen zwei Haltepunkten bewegt. Bei langen Strecken wird eine Unterteilung in mehrere Abschnitte vorgeschlagen, wobei in jedem Abschnitt eine optimale Teillösung ermittelt wird und die Gesamtlösung sich aus der Zusammensetzung der Teillösungen ergibt. Die vorgeschlagenen Verfahren zur Energieoptimierung betrachten jeweils die Gesamtstrecke zwischen zwei Haltepunkten. Es erfolgt jedoch keine Verwaltung von Zeitreserven.

Die Unsicherheit im Betriebsablauf, wegen der Zeitreserven im Fahrplan vorgesehen werden, ist im Start-Haltepunkt (Startbahnhof) am höchsten und nimmt mit zunehmender Annäherung an den Ziel-Haltepunkt (Zielbahnhof) ständig ab. Die Berücksichtigung der Abnahme der Unsicherheit erfolgt traditionell in Streckenfahrplänen in Form von Durchfahrtzeiten für ausgewählte Streckenpunkte. Dabei wird die Zeitreserve gleichmäßig auf die Gesamtstrecke verteilt.

Die DE 30 26 652 A1 und die EP 0 467 377 B1 beschäftigen sich mit einer Systemstruktur, in der Verfahren zur Energieminimierung realisiert werden können, wobei eine Gesamtstrecke zwischen zwei Haltepunkten (Haltebahnhöfen) berücksichtigt wird. Dies kann bei langen Strecken dazu führen, daß Echtzeitvorgaben für die Lösung durch das Verfahren in nachteiliger Weise nicht eingehalten werden.

Die bisher bekannten Verfahren zur Energieoptimierung berücksichtigen nur unzureichend die Forderung nach Robustheit des Betriebsablaufs, die mit Zeitreserven im Fahrplan erhöht werden soll.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren zur Energieoptimierung der Fahrweise bei einem Fahrzeug/Zug mit in mehrere Abschnitte unterteilter Gesamtstrecke anzugeben.

Diese Aufgabe wird in Verbindung mit dem Oberbegriff durch die im den Anspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst.

Die mit der Erfindung erzielbaren Vorteile bestehen insbesondere darin, daß durch die Einbeziehung einer flexiblen Verwaltung von Zeitreserven unter Zuhilfenahme eines Optimierungsalgorithmus die Robustheit des Betriebsablaufs erhöht wird. Gleichzeitig ist die realisierte Fahrweise energieoptimal. Mit „Robustheit“ ist gemeint, daß auch bei langen Gesamtstrecken und unvorhergesehenen Ereignissen ein rechtzeitiges Eintreffen des Fahrzeuges/Zuges am Ziel-Haltepunkt mit hoher Wahrscheinlichkeit gewährleistet ist.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Weitere Vorteile des vorgeschlagenen Verfahrens ergeben sich aus der nachstehenden Beschreibung.

Die Erfindung wird nachstehend an Hand des in der einzigen Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Die Figur zeigt das Weg/Zeit-Diagramm eines Fahrzeuges, wobei die gesamte Fahrstrecke in mehrere einzelne Abschnitte eingeteilt ist und i den Laufindex für die einzelnen Abschnitte darstellt. Mit n ist die zweckmäßige Anzahl der Abschnitte für eine Vorausberechnung bezeichnet. Die jeweils spätesten Durchfahrtzeiten sind mit Dreiecken gekennzeichnet. Ferner ist beispielhaft ein Zeitfenster angegeben. Durch das Zeitfenster wird bestimmt, zu welcher frühesten und spätesten Durchfahrtzeit ein bestimmter Abschnitt vom Fahrzeug zu passieren ist.

Erfnungsgemäß erfolgt eine flexible Einbeziehung von Zeitreserven in die Energieoptimierung. Zeitreserven werden vorgesehen, um auf unvorhergesehene Ereignisse reagieren zu können und um damit die Robustheit des Verkehrsablaufs zu erhöhen. Typischerweise wird ein Zeitzuschlag von beispielsweise 5 % gewährt. Dieser Zeitzuschlag wird beispielsweise gleichmäßig auf die Gesamtstrecke verteilt, womit Durchfahrtzeiten an beliebigen Streckenpunkten ermittelt werden können. Erfnungsgemäß erfolgt die Einbeziehung der Zeitreserven derart flexibel, daß die in einem Streckenabschnitt nicht verbrauchte Zeitreserve anteilmäßig den nachfolgenden Streckenabschnitten zugeschlagen wird und derart, daß die den einzelnen Streckenabschnitten zustehenden Zeitreserven unterschiedlich bewertet werden.

Erfnungsgemäß werden zwei mögliche Vorgehensweisen zur flexiblen Einbeziehung von Zeitreserven in die Optimierung vorgesehen:

Gemäß einer ersten möglichen Vorgehensweise wird der Verbrauch von Zeitreserve in einem Streckenabschnitt als „Strafterm“ in der Optimierung berücksichtigt. Als „Strafterm“ kommt insbesondere eine monoton fallende Funktion der Zeit in Betracht. Auf diese Weise wird der Verbrauch von Zeitreserve um so weniger „bestraft“, je weiter er in der Zukunft, d. h. näher am Ziel-Haltepunkt erfolgt.

Gemäß einer zweiten möglichen Vorgehensweise werden die Durchfahrtzeiten im Optimierungsproblem als Randbedingungen in der Art aufgenommen, daß einerseits die geforderte Robustheit gewährleistet ist, daß aber andererseits die zur Energieeinsparung optimale Lösung möglichst wenig beeinträchtigt wird. Um der

geforderten Robustheit zu genügen, ist es ausreichend, wenn späteste Durchfahrtzeiten gefordert werden. Diese spätesten Durchfahrtzeiten sind in der Figur als Dreiecke eingetragen, wie bereits erwähnt.

Weitere Zeitbeschränkungen können sich beispielsweise aus der gleichzeitigen Benutzung einer Strecke bzw. eines Streckenabschnitts durch mehrere Fahrzeuge ergeben. Eine übergeordnete Betriebsleitzentrale kann deshalb kurzfristige Vorgaben für Durchfahrtzeiten in Form von Zeitfenstern an das Fahrzeug stellen. Ein derartiges Zeitfenster ist in der Figur beispielhaft eingetragen, wie bereits erwähnt.

Erfnungsgemäß wird vorgesehen, kurzfristige Vorgaben mit langfristig bekannten Planungen zu kombinieren und als Randbedingungen in die Energieoptimierung mittels eines Optimierungsalgorithmus aufzunehmen. Sich hieraus ergebende Zeitfenster werden in die Optimierung als eine früheste und eine späteste Durchfahrtzeit einbezogen.

Für das vorgeschlagene Verfahren geeignete Optimierungsalgorithmen sind beispielsweise aus Papageorgiou: Optimierung, Kapitel 10, 19 und insbes. 20, Oldenbourg Verlag, 1996, bekannt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Energieoptimierung bei einem Fahrzeug/Zug bei der Benutzung von Zeitreserven, welche bei einem Fahrplan eingeplant sind, wobei eine zwischen einem Start-Haltepunkt und einem Ziel-Haltepunkt zu durchfahrende Gesamtstrecke in mehrere Abschnitte unterteilt und jedem Abschnitt eine gewisse Zeitreserve zuerkannt wird, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzielung einer energiesparenden Fahrweise unter Zuhilfenahme eines Optimierungsalgorithmus eine übergeordnete Verwaltung der einzelnen Zeitreserven erfolgt und die einzelnen Zeitreserven flexibel in die Optimierung einbezogen werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Verbrauch von Zeitreserve in den einzelnen Abschnitten als „Strafterm“ in der Optimierung berücksichtigt wird, so daß der Verbrauch von Zeitreserve um so mehr „bestraft“ wird, je näher er am Start-Haltepunkt erfolgt und um so weniger „bestraft“ wird, je näher er am Ziel-Haltepunkt erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils späteste Durchfahrtzeiten hinsichtlich der einzelnen Abschnitte als Randbedingungen in die Optimierung aufgenommen werden.

4. Verfahren nach Anspruch 2 und/oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß Durchfahrtzeiten in Form von Zeitfenstern unter Vorgabe einer frühesten und spätesten Durchfahrtzeit vorgegeben werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß sich während der Fahrt ergebende kurzfristige Vorgaben mit langfristig bekannten Planungen kombiniert und als Randbedingungen in die Optimierung aufgenommen werden.

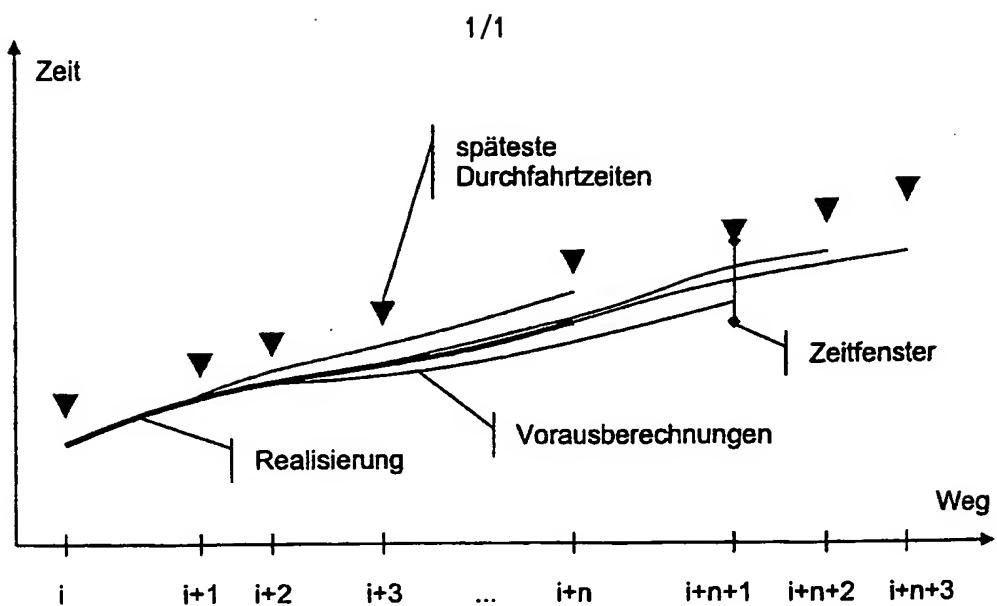


FIG. 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 00/07149

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 B61L3/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B61L B60L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|--|-----------------------|
| A | DD 208 324 A (HORN PETER;WINKLER AXEL; GROSSE SEBASTIAN) 2 May 1984 (1984-05-02) the whole document --- | 1 |
| A | DD 129 761 A (HORN PETER;WINKLER AXEL) 8 February 1978 (1978-02-08) the whole document --- | 1 |
| A | DD 236 705 A (VERKEHRSWESEN FORSCH INST) 18 June 1986 (1986-06-18) the whole document --- | 1 |
| A | DD 262 836 A (VERKEHRSWESEN FORSCH INST) 14 December 1988 (1988-12-14) the whole document --- | 1 |
| | | -/- |

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the International filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 December 2000

Date of mailing of the international search report

21/12/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Reekmans, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

| |
|------------------------------|
| International Application No |
| PCT/EP 00/07149 |

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|----------|---|-----------------------|
| A | DD 266 539 A (ZENTRALES FI DES VERKEHRS WESE) 5 April 1989 (1989-04-05) the whole document _____ | 1 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 00/07149

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|--|------------------|-------------------------|------------------|
| DD 208324 | A 02-05-1984 | NONE | |
| DD 129761 | A 08-02-1978 | NONE | |
| DD 236705 | A 18-06-1986 | NONE | |
| DD 262836 | A 14-12-1988 | NONE | |
| DD 266539 | A 05-04-1989 | NONE | |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intell. nationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/07149

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 B61L3/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprästoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B61L B60L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprästoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---|--------------------|
| A | DD 208 324 A (HORN PETER;WINKLER AXEL; GROSSE SEBASTIAN) 2. Mai 1984 (1984-05-02) das ganze Dokument --- | 1 |
| A | DD 129 761 A (HORN PETER;WINKLER AXEL) 8. Februar 1978 (1978-02-08) das ganze Dokument --- | 1 |
| A | DD 236 705 A (VERKEHRSWESEN FORSCH INST) 18. Juni 1986 (1986-06-18) das ganze Dokument --- | 1 |
| A | DD 262 836 A (VERKEHRSWESEN FORSCH INST) 14. Dezember 1988 (1988-12-14) das ganze Dokument --- | 1 |
| | -/- | |

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- *&* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

12. Dezember 2000

21/12/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Reekmans, M

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/07149

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|--|--------------------|
| A | DD 266 539 A (ZENTRALES FI DES VERKEHRS WESE) 5. April 1989 (1989-04-05) das ganze Dokument ----- | 1 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Inter. nationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/07149

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|---|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| DD 208324 A | 02-05-1984 | KEINE | |
| DD 129761 A | 08-02-1978 | KEINE | |
| DD 236705 A | 18-06-1986 | KEINE | |
| DD 262836 A | 14-12-1988 | KEINE | |
| DD 266539 A | 05-04-1989 | KEINE | |